

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-26350

(43)公開日 平成11年(1999)1月29日

(51)Int.Cl.⁶
 H 0 1 L 21/027
 G 0 3 F 7/20
 G 2 1 K 5/02
 H 0 5 H 13/04

識別記号

5 0 3

F I

H 0 1 L 21/30 5 3 1 A
 G 0 3 F 7/20 5 0 3
 G 2 1 K 5/02 X
 H 0 5 H 13/04 U

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 13 頁)

(21)出願番号 特願平9-177165

(22)出願日 平成9年(1997)7月2日

(71)出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72)発明者 渡辺 豊

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

(72)発明者 原 真一

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

(72)発明者 水澤 伸俊

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

(74)代理人 弁理士 若林 忠 (外4名)

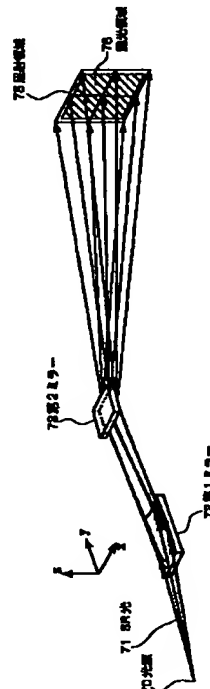
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 露光装置

(57)【要約】

【課題】 SR光の水平方向の大きな発散角を集光して、所要露光面に照射される強度の増大をはかると同時に、所要露光面をほぼ同一な強度で照射して、微細パターンの正確な転写をおこなうことのできる露光装置を提供する。

【解決手段】 ミラーが、大きい発散角で出射した放射光71を集光して反射する第1のミラー72と、反射された放射光を入射して、ウェーハにパターンを転写するためのマスクに照射する第2のミラー73とで構成されている。第1のミラー72の反射面形状がx軸方向に凹、y軸方向に凹であるとともに、第2のミラー73の反射面形状がy軸方向に凸であり、光源から水平方向に出射された放射光が第1のミラーおよび第2のミラーを経由してウェーハの露光領域76の全域をほぼ同一の強度で照射するような、第1のミラーおよび第2のミラーの反射面の形状並びに第1のミラー、第2のミラーおよびマスクの配置となっている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 SR光源から放射された放射光をミラーで反射して、マスクのパターンをウェーハに露光転写する露光装置において、

前記ミラーが、SR軌道面内に大きい発散角で出射した放射光を集光して反射する第1のミラーと、前記第1のミラーで反射された放射光を反射して該マスクに照射する第2のミラーとで構成され、

前記マスクのパターンが前記ウェーハに転写される領域を露光領域とし、前記放射光の発光点から出射されて該露光領域の中心に到達する前記放射光を主光線とし、前記主光線が前記第1のミラー上で反射される点を第1のミラーの中心とし、前記主光線が前記第2のミラー上で反射される点を第2のミラーの中心とし、各ミラーにおいて該ミラーの中心から引いた各ミラーの法線をz軸とし、ミラーの反射面からミラーの外部に向けた方向をz軸の正の方向とし、各ミラーに入射する主光線と各ミラーのz軸との作る平面に垂直な軸を各ミラーのx軸とし、各ミラーのx軸、z軸の双方に垂直な軸を各ミラーのy軸とし、各ミラーから出射した主光線の進行方向のベクトルとの内積が正となる各ミラーのy軸の方向を正の方向とし、y軸の正の方向の単位ベクトルとz軸の正の方向の単位ベクトルとの外積がx軸の正の方向の単位ベクトルとなるような各ミラーのx軸の方向を正の方向としたとき、

前記第1のミラーの反射面形状がx軸方向に凹、y軸方向に凹であるとともに、前記第2のミラーの反射面形状がy軸方向に凸であり、

光源から水平方向に出射された放射光が前記第1のミラーおよび前記第2のミラーを経由して前記ウェーハの前記露光領域の全域をほぼ同一の強度で照射するような、前記第1のミラーおよび前記第2のミラーの反射面の形状並びに前記第1のミラー、前記第2のミラー、前記マスクおよび前記ウェーハの配置であることを特徴とする露光装置。

【請求項2】 前記SR光源から放射された放射光のうち、SR軌道面に垂直な方向に放射された前記主光線近傍の該放射光が、前記第1のミラーで前記第2のミラーに向けて反射された後、前記第2のミラーへの入射前にほぼ一点に集光されるように、前記第1のミラーの反射面の中心部近傍のy軸方向の凹の曲率半径が設定されている請求項1に記載の露光装置。

【請求項3】 前記発光点と前記第1ミラーの中心との距離を l_1 とし、前記第1ミラーの中心と前記第2ミラーの中心との距離を l_2 とし、前記第2ミラーの中心と前記マスクとの距離を l_3 とし、前記第1ミラー、前記第2ミラーへの斜入射角を θ とし、第1ミラーの中心近傍におけるx方向、y方向の曲率半径をそれぞれ r_{1x} 、 r_{1y} とすると、前記y方向の曲率半径 r_{1y} を、 $r_{1y} > 2/l_1 \times l_1 \times l_2 / (l_1 + l_2) / \sin \theta$

$n \theta$

となるように設定された、請求項1に記載の露光装置。

【請求項4】 さらに前記y方向の曲率半径 r_{1y} が、 $2/l_1 \times l_1 \times l_2 / (l_1 + l_2) / \sin \theta < r_{1y} < 2 \times l_1 \times l_2 / (l_1 + l_2) / \sin \theta$

となるように設定された、請求項3に記載の露光装置。

【請求項5】 さらに前記x方向の曲率半径 r_{1x} が、 $r_{1x} < 2 \sin \theta / (1/l_1 + 3/2/l_2)$ となるように設定された、請求項3に記載の露光装置。

【請求項6】 さらに前記x方向の曲率半径 r_{1x} が、 $r_{1x} > 2 \sin \theta / (1/l_1 + 2/3/l_2)$ となるように設定された、請求項3に記載の露光装置。

【請求項7】 前記第2のミラーが回転可能な請求項2に記載の露光装置。

【請求項8】 前記第2のミラーが回転振動および直線振動の少なくともいずれか一方が可能な請求項2に記載の露光装置。

【請求項9】 前記第2のミラーの回転振動の回転振動軸が、ほぼx方向の軸である請求項8に記載の露光装置。

【請求項10】 前記第2のミラーの直線振動の振動方向が、ほぼy方向である請求項8に記載の露光装置。

【請求項11】 前記第2のミラーにより反射された前記放射光が前記マスクを照射する領域が前記ウェーハの露光領域よりも大きく、該露光領域内における照射強度の最大値が最小値の2倍以下であるような、前記第1のミラーおよび前記第2のミラーの反射面の形状と加工精度並びに前記第1のミラー、前記第2のミラー、前記マスクおよび前記ウェーハの配置である、請求項7から請求項10のいずれか1項に記載の露光装置。

【請求項12】 前記露光装置で前記ウェーハを露光する方法が一括露光方式である請求項1から請求項11のいずれか1項に記載の露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、露光装置に関し、特にSR光源等の光源からの放射光をミラーを用いて照射し、マスクのパターンをウェーハに露光転写する露光装置に関する。

【0002】

【従来の技術】SR（シンクロトロン放射）光源は、SR軌道面内方向（通常、SR軌道面は、水平面に一致して設置されるため、以下、水平方向と呼ぶ）には大きな発散角をもち、SR軌道面に垂直な方向（同じく、鉛直方向と呼ぶ）には小さな発散角をもつ、シート状の電磁波（X線、真空紫外線を含む）を放射する放射光（以下SR光と呼ぶ）の光源である。鉛直方向の発散角が小さなため、放射光をそのまま照射した場合、鉛直方向には小さな範囲でしか照射されない。そこで、SR光源を用いる露光装置では、SR光源より照射されるX線の露光

エリアを鉛直方向に広げるための何らかの方法が必要となる。

【0003】このための方法として、(1) 斜入射ミラーをSR光源と露光面との間に配置し、数mradの角度で振動させる方法(R. P. Haelbich他、J. Vac. Sci. & Technol. B1 (4)、Oct. -Dec. 1983、pp. 1262~1266)、(2) 曲面形状の斜入射ミラーをSR光源と露光面との間に配置し、ミラー曲面での反射によって、X線ビームの鉛直方向の発散角を拡大する方法(Warren D. Grobman、handbook on Synchrotron Radiation、Vol. 1、chap. 13、p. 1135、North-Holland Publishing Co.、1983)などが知られている。また、(3) (2)の改良方法として、ミラー形状をシリンドリカル形状からずらし、周辺部の曲率を連続的に小さくすることにより、強度の均一化を図りながらX線ビームの鉛直方向の発散角を拡大する方法(特開平1-244400)がある。図12は従来例(3)の露光装置の模式的斜視図であり、図中符号120は発光点、122はミラー、129はマスクである。発光点120からのSR光は特殊形状のミラー122により鉛直方向に発散角が拡大されてマスク129に照射されている。そしてこのマスクに形成されたパターンが不図示のウェーハ基板に露光転写される。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】これらの方法のうち、(1)は露光すべき領域に比べて幅の狭い照射領域をマスク面上でスキャンすることになるので、瞬間的には露光領域の一部分しか照射されず、露光用マスクおよびウェーハが部分的に熱膨張する。この熱膨張の影響は、ミラーの振動周期が十分に短くなければ除くことができず、微細パターンの正確な転写が困難となる。一方、振動周期を十分に短くするためには大きな駆動パワーが必要となり実用的には実現できない場合があるだけでなく、加減速時におけるロス時間がスループットを低下させることとなる。

【0005】これに対し、(2)は、所要露光領域を一括照射できるため、上述した(1)の欠点をカバーする一方策といえる。しかしながら、上記文献では、ミラー形状がシリンドリカル(円筒面)であるため、照射強度を均一にするためにはビームを十分に拡大する必要があり、結果としてエネルギーを著しく損失する。一方、照射強度を低下させない場合には、照射強度が所用露光領域で均一ではなくなるために、上記文献中では開示されていないシャッター等の補完的な露光量制御機構が必要となる。さらに、シート状の電磁波の水平方向の大きな発散角を集光することができず、そのため、水平方向には、発光点から露光領域が張る角度しか利用することが

できないこととなる。

【0006】(3)は、(2)の欠点のうち、ビームの拡大に伴いエネルギーを損失するという欠点、および照射強度が所用露光領域で均一ではないという欠点を解決しているが、水平方向には、発光点から露光領域が張る角度しか利用することができないことは(2)と同様である。そのため、所要露光領域に照射される強度は、(2)より、大きく改善されているとはいえ、さらに、光源強度の増大を図るか、あるいは、レジストの感度の上昇を図るかの手段を講じることにより露光のスループット向上を行う必要があった。このことは、SR光源のコスト上昇、SR光源の規模の増大、あるいは、レジスト開発によるコスト上昇を招くこととなる。

【0007】一方、シート状の電磁波の水平方向の大きな発散角を集光するという点においては、(1)の改良として、斜入射ミラーにSR光の光軸と垂直な方向(x方向)に凹面の曲率を持たせSR光を集光しながら、マスク上に露光されるべき領域よりも垂直方向には幅の狭い照射領域を形成し、ミラーを数mradの角度で振動させることによりその狭い照射領域をマスク上で垂直方向に振動させ、実質的に照射領域を拡大するという方法もある。しかしながら、瞬間的には露光領域の一部分しかビームが照射されず、ミラーの振動周期を十分に短くすることなしには、微細パターンの正確な転写が困難となることは、(1)と全く同様である。

【0008】本発明の目的は、上記従来例の欠点に鑑み、シート状の電磁波であるSR光の水平方向の大きな発散角を集光することにより、光源強度の増大を図ることなく、所要露光面に照射される強度の増大をはかると同時に、所要露光面をほぼ同一な強度で一括照射し、微細パターンの正確な転写をおこなうと同時にスループットの向上を行った露光装置を提供することにある。

【0009】さらに、ミラーあるいはX線窓の形状誤差、ミラー表面上にある傷、ミラー、X線窓の表面に付着したほこり、異物、さらには表面粗さのミラー面上での分布の違い等により生ずる露光むらを解決する方法を有する露光装置を提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明の露光装置は、SR光源から放射された放射光をミラーで反射してマスクのパターンをウェーハに露光転写する露光装置であり、ミラーが、SR軌道面内に大きい発散角で出射した放射光を集光して反射する第1のミラーと、第1のミラーで反射された放射光を反射して、該マスクに照射する第2のミラーとで構成されている。第1のミラーの反射面形状がx軸方向に凹、y軸方向に凹であるとともに、第2のミラーの反射面形状がy軸方向に凸であり、光源から水平方向に出射された放射光が第1のミラーおよび第2のミラーを経由してウェーハの露光領域の全域をほぼ同一の強度で照射するような、第1のミラーおよび第2の

ミラーの反射面の形状並びに第1のミラー、第2のミラー、マスクおよびウェーハの配置である。ただし、マスクのパターンがウェーハに転写される領域を露光領域とし、放射光の発光点から出射されて該露光領域の中心に到達する放射光を主光線とし、主光線が第1のミラー上で反射される点を第1のミラーの中心とし、主光線が第2のミラー上で反射される点を第2のミラーの中心とし、各ミラーにおいて該ミラーの中心から引いた各ミラーの法線をz軸とし、ミラーの反射面からミラーの外部に向けた方向をz軸の正の方向とし、各ミラーに入射する主光線と各ミラーのz軸との作る平面に垂直な軸を各ミラーのx軸とし、各ミラーのx軸、z軸の双方に垂直な軸を各ミラーのy軸とし、各ミラーから出射した主光線の進行方向のベクトルとの内積が正となる各ミラーのy軸の方向を正の方向とし、y軸の正の方向の単位ベクトルとz軸の正の方向の単位ベクトルとの外積がx軸の正の方向の単位ベクトルとなるような各ミラーのx軸の方向を正の方向として定義する。

【0011】また、SR光源から放射された放射光のうち、SR軌道面に垂直な方向に放射された主光線近傍の該放射光が、第1のミラーで第2のミラーに向けて反射された後、第2のミラーへの入射前にほぼ一点に集光されるように、第1のミラーの反射面の中心部近傍のy軸方向の凹の曲率半径が設定されていることが好ましい。

【0012】発光点と第1ミラーの中心との距離を l_1 とし、第1ミラーの中心と第2ミラーの中心との距離を l_2 とし、第2ミラーの中心とマスクとの距離を l_3 とし、第1ミラー、第2ミラーへの斜入射角を θ とし、第1ミラーの中心近傍におけるx方向、y方向の曲率半径をそれぞれ r_{1x} 、 r_{1y} とすると、y方向の曲率半径 r_{1y} が、
$$r_{1y} > 2 / (1/l_1 \times l_1 \times l_2 / (l_1 + l_2) / \sin \theta$$

となるように設定されていることが好ましく、さらにy方向の曲率半径 r_{1y} が、
$$2 / (1/l_1 \times l_1 \times l_2 / (l_1 + l_2) / \sin \theta < r_{1y} < 2 \times l_1 \times l_2 / (l_1 + l_2) / \sin \theta$$

となるように設定されていることが好ましく、さらにx方向の曲率半径 r_{1x} が、

$$r_{1x} < 2 \sin \theta / (1/l_1 + 3/2/l_2)$$
 または、

$$r_{1x} > 2 \sin \theta / (1/l_1 + 2/3/l_2)$$

となるように設定されていることが好ましい。

【0013】さらに、第2のミラーが回転可能であってもよく、回転振動および直線振動の少なくともいずれか一方が可能であってもよい。

【0014】この場合第2のミラーにより反射された放射光がマスクを照射する領域がウェーハの露光領域よりも大きく、該露光領域内における照射強度の最大値が最小値の2倍以下であるような、第1のミラーおよび第2

のミラーの反射面の形状と加工精度並びに第1のミラー、第2のミラー、マスクおよびウェーハの配置であることが好ましい。

【0015】第1ミラーをx、y両方向とも凹、第2枚目のミラーをy方向凸とし、第1のミラーで水平方向に大きな発散角で光源から出射したSR光を狭い発散角に収束し、垂直方向のSR光を第2ミラーに入射前に集光したあと第2ミラーでマスク面に拡散して照射するので、露光領域全面をほぼ均一な強度で照射できるとともにスループットも向上する。

【0016】第1ミラーからの垂直方向のSR光を第2ミラーの手前で集光しているので第2ミラーの照射方向の長さを短くでき、第2ミラーを小型軽量化できる。それによりミラーの加工精度を上げることができ、微小振動も容易となる。

【0017】また、ミラーを微小振動することにより、ミラーあるいはX線窓の形状誤差、ミラー表面上にある傷、ミラー、X線窓の表面に付着したほこり、異物、さらには表面粗さのミラー面上での分布の違い等による露光むらを解消することができ、さらに露光領域全面をほぼ均一な強度で照射することにより、リソグラフィーにおいて、線幅均一性を向上させることができる。

【0018】

【発明の実施の形態】次に、本発明の実施の形態について図面を参照して説明する。図1は本発明の第1の実施の形態の露光装置の光学系の構成と配置を示す模式的配置図であり、(a)は側面図、(b)は上面図である。図中符号10は発光点、11、15はSR光、12は第1ミラー、13は第2ミラーである。

【0019】図1において発光点10で電子軌道がベンディング磁石によって曲げられるときにSR光11が接線方向に放射される。本実施の形態では、発光点10から大きい角度で出射したSR光11が第1ミラー12により反射され、その後、第2ミラー13で反射される。第2枚目のミラー13により反射されたSR光15は、マスク(不図示)の方向に向けられる。

【0020】図2は本発明の実施の形態における主光線、ミラーの中心、座標系の概念を示す模式的斜視図であり、図中符号20はSRリング、20aは発光点、22は第1ミラー、22aは第1ミラーの中心、23は第2ミラー、23aは第2ミラーの中心、25、26、27は主光線、29はマスク、29aはマスクの中心である。

【0021】X線および真空紫外線などの放射光の光源であるSRリング20の発光点20aから、水平方向には数十mradと広く、垂直方向には1mrad程度と狭く出射したSR光が、第1ミラー22および第2ミラー23により連続して反射され、マスク28上に描画されたパターンがウェーハに転写される領域(露光領域と呼ぶ)を少なくとも含むマスク29の領域(照射領域と

呼ぶ)に照射される。水平方向および垂直方向に発散して発光点から出射したSR光の内、マスク29の中心29aに到達するSR光を主光線25、26、27と呼び、主光線25が第1ミラー22で反射される点を第1ミラーの中心22a、主光線26が第2ミラー23で反射される点を第2ミラーの中心23aと呼ぶ。ミラーの中心22a、23aから引いた各ミラーの法線をz軸とし、ミラーからミラーの外側に向けた方向をz軸の正の方向とし、各ミラーに入射する主光線と各ミラーのz軸との作る平面に垂直な軸を各ミラーのx軸とし、各ミラーのx軸、z軸の双方に垂直な軸を各ミラーのy軸とし、各ミラーから出射した主光線の進行方向のベクトルとの内積が正となる各ミラーのy軸の方向を正の方向とし、各ミラーのx軸の正の方向をxyz軸が左手系を構成するように、y軸の正の方向の単位ベクトルとz軸の正の方向の単位ベクトルとの外積がx軸の正の方向の単位ベクトルとなるx軸の方向を正の方向と定義する。

【0022】SR光は、水平方向(SR軌道面内方向)には大きな発散角、鉛直方向(SR軌道面に垂直な方向)には小さな発散角をもつ、シート状の電磁波(X線、真空紫外線を含む)である。この「水平方向に大きな発散角をもつSR光」は、厳密には一点の発光点から出射しているのではなく、SRの電子軌道上の各点から接線方向に出射している。ここでは、十分点とみなせる程小さい長さのSRの電子軌道から出射してくるSR光を、一点の発光点からその電子軌道の長さに対応した発散角をもって出射してくるSR光とみなしている。

【0023】図3は本発明の実施の形態の垂直方向に出射したSR光の光路を示す模式的斜視図であり、図中符号30は光源、31は垂直方向に出射されたSR光、32は第1ミラー、33は第2ミラー、34、35は仮想平面、34a、35aは垂直方向に出射されたSR光と仮想平面との交線、36は集光される位置である。

【0024】光源30から1mrad程度の発散角を持って垂直方向に出射したSR光31は、図3に示されるように、x軸方向に凹、y軸方向に凹の形状を有する第1ミラー32により反射され、特にy軸方向が凹の形状をしていることにより第1ミラーから1の距離の位置36でほぼ一点に集光される。第2ミラー33はその集光点の下流に設置される。第2ミラー33はy軸方向に凸の形状を有しており、集光された点36から広がりつつあるSR光をさらに広げ、マスク方向に出射する。光源30と第1ミラー32との間の仮想平面34および第2ミラー33とマスクの間の仮想平面35と垂直方向に出射されたSR光との交線34a、35aは垂直線となる。

【0025】図4は本発明の実施の形態の水平方向に出射したSR光の光路を示す模式的斜視図であり、図中符号40は光源、41は水平方向に出射されたSR光、42は第1ミラー、42aは水平方向に出射されたSR光

と第1ミラーとの交線、44、45、46、47は仮想平面、44a、45a、46a、47aは水平方向に出射されたSR光と仮想平面との交線、48は第1ミラーから出射したSR光である。

【0026】光源40から数十mrad程度の発散角を持って水平方向に出射したSR光41は、図4に示されるように、x軸方向に凹、y軸方向に凹の形状を有する第1ミラー42に入射する。水平方向に出射したSR光の内、マスク中央に入射する光(主光線)に垂直な仮想平面44と、水平方向に出射したSR光の交線44aは直線となる。第1ミラー42と水平方向に出射したSR光41との交線42aは、第1ミラー42が主にx軸方向に凹としてあることにより、放物線に近い形となる。第1ミラー42から出射したSR光48と主光線に垂直な仮想平面との交線は、第1ミラーの直後の仮想平面45では交線45aが第1ミラー42のx軸方向の凹面の向き(図4では凹面が上向き)と同様に凹となる。一方、第1ミラー42をy軸方向に凹としていることにより、第1ミラー42から離れるにしたがって仮想平面46との交線46aでは直線となり、さらに離れると仮想平面47との交線47aでは凸となる。

【0027】第2ミラーを図3の垂直方向に出射したSR光がほぼ一点に集光する位置33よりも光源から遠方に設置し、水平方向に出射したSR光41と主光線に垂直な仮想平面との交線が直線になる点46よりも光源に近く設置することにより、SR光は第2ミラー位置では垂直方向にほぼ集光するとともに、水平方向の光はほぼ直線となることになる。その結果、SR光は第2ミラーに投射される位置では投射方向の幅が十分小さくなり、第2ミラーの入射方向の長さを小さくしても、全ての入射光を反射させることが可能となる。即ち、SR光の利用効率を落とすことなく、第2ミラーのサイズを十分小さくできることとなる。

【0028】SR光を利用した露光装置において用いられる光の波長は1nm前後であるため、要求されるミラーの形状はほぼ波長と同程度の精度が要求される。ミラーの加工は、同一精度で加工を行う場合にはミラーのサイズが小さいほど加工しやすいことはいうまでもない。しかしながら、第1ミラーのサイズは数百mmにもなり、かつ、形状が対象軸を有しないため、数nmの精度で加工することは現状では困難である。ミラー形状が理想的な場合には強度が全く均一となるが、実際には、ミラーの加工誤差等により強度むらが発生してしまうことになる。同様に、SR光の照射経路中の真空領域の境界で用いられるX線窓は主にBe膜で作成されているが、薄膜化の過程で圧延工程があるため、X線窓にも加工誤差が生じ更に強度むらが発生させる原因となる。

【0029】このミラーあるいはX線窓の加工誤差は、マスク上の露光領域内で数十 μm ～数mmの周期のSR光の強度むらとして現れる。そのため、マスク上で10

mm程度SR光が振れるようにミラーを微小振動することにより、ミラーあるいはX線窓の加工誤差により発生したむらは緩和されることになる。本発明の実施の形態においては、光源からの距離が第1ミラーよりもさらに遠くにある第2ミラーの長さを100~300mmとし軽量化を図ることができるため、ミラーを微小振動させることによりミラーあるいはX線窓の加工誤差、ミラー表面上にある傷、ミラー、X線窓の表面に付着したほこり、異物、さらには表面粗さのミラー面上での分布の違い等により生ずる露光むらを緩和させることができる。

【0030】次に具体的な数値による実施例を含めた実施の形態を図面を参照して説明する。図2において発光点20aと第1ミラーの中心22a間の距離 $l_1 = 2800\text{mm}$ 、第1ミラーの中心22aと第2ミラーの中心23a間の距離 $l_2 = 3200\text{mm}$ 、第2ミラーの中心23aとマスク29間の距離 $l_3 = 5000\text{mm}$ 、第1ミラー22、第2ミラー23への斜入射角 $\theta = 18\text{mrad}$ と設定し、第2ミラー23よりマスク寄り4500mmに18 μm の厚さのBe膜が真空隔壁として設置されている。真空隔壁よりマスク側にはHeが150 Torrの圧力で満たされている。マスク29はSiCからなる2 μm の厚さのメンブレン上にタングステンを主成分とする吸収体からなるパターンが描かれてある。マスクメンブレンから20 μm のギャップで、ウェーハがある。

【0031】第1ミラー22はx軸方向に凹、y軸方向に凹の形状としてあり、中心近傍で、x方向曲率半径を $r_x = 89.9\text{mm} - 0.0062 \times y\text{mm}$ 、y方向曲率半径 $r_y = 82284\text{mm}$ と設定した。曲率半径 r_x をy方向に変化させているので、ミラーはミラー中心近傍において発光点から遠ざかる方向に曲率半径が若干小さくなっている。第2ミラーは特にy軸方向に凸の形状をしてあり、x方向の曲率半径1332mm、y方向の曲率半径34800mmと設定した。本実施例のミラー形状を図5に示す。図5は実施例のミラーの形状を示す立体図であり、(a)は第1ミラー、(b)は第2ミラーである。

【0032】垂直方向に出射したSR光は、図3に示されるように、第1ミラー32により反射され、第1のミラーの中心から $l = 1007\text{mm}$ の位置において集光される。第1ミラー32から第2ミラー33までの距離が $l_2 = 3200\text{mm}$ であるから、集光点36から第2ミラー33までの距離が2193mmとなり、相似の関係で、第2ミラー33近辺での光線に垂直な方向の幅は、第1ミラー32近辺での幅に比べて $2193/1007$ となりほぼ2.18倍の幅となっている。これは、第1ミラーに到達した光がそのまま第1ミラーに反射されることなく進んだ場合、 $6000/2800 = 2.14$ 倍となることから、第2ミラー位置でSR光の幅が第1ミラーがない場合に比べて、特別に大きくなっていないこ

とを意味する。

【0033】さらに、図4に示されるように、水平方向に出射したSR光41とマスク中央に入射する光に垂直な仮想平面との交線が直線になる仮想平面46の位置が、第2ミラーが無い時、第1ミラー42の中心から3560mmの位置となるため、第2ミラーの位置はその位置より光源側となっており、かつその位置に極めて近いいため、第2ミラーのサイズは結果的に小さくすることができる。

【0034】第2ミラーの中心位置における、第1ミラーからの反射光の分布を図6に示す。図6は実施例の第2ミラーの中心位置における第1ミラーからの反射光の分布を示す平面図であり、x方向には、 $-13.5\text{mrad} \sim 13.5\text{mrad}$ の角度に1.35mradの間隔で、y方向には $-0.28\text{mrad} \sim 0.28\text{mrad}$ の角度に0.14mradの間隔で合計105本の光線を光源から出射させた時の第2ミラーの中心位置における光線の分布を表す。

【0035】第1ミラーとSR軌道面上に出射したSR光との交線は図4の第1ミラーの交線42aで示すようにほぼ放物線であるため第1ミラー42の有効領域の長さが540mm必要であるにも関わらず、第2ミラーの有効領域の長さは280mm程度となっている。ミラー加工時の面だれ等の形状劣化や、あるいは、押さえ力による変形による形状劣化を除くため、ミラーの厚さは少なくともミラーの長さに比例させた程度の厚さが必要となってくる。幅方向は、第1ミラー、第2ミラーともほぼ同じであるため、第2ミラーは、第1ミラーの約1/3.7の重さとなっている。本発明における構成を実施しない場合、第2ミラーの長さは少なくとも第1ミラー程度の大きさとなることが予想され、結果として、第2ミラーの重さを1/4程度とすることができたことになる。ミラーサイズを小さくできたため第2ミラーの加工精度を上げることができるだけでなく、第1ミラーの加工誤差、X線窓の加工誤差等による強度むらの緩和のため微小振動させることも容易となっている。

【0036】図7は実施例におけるSR光がマスク上に形成する照射領域と露光領域を示す模式的斜視図であり、図中符号70は光源、71はSR光、72は第1ミラー、73は第2ミラー、75はマスク上の照射領域、76はマスク上の露光領域であり露光領域は斜線で示されている。

【0037】本実施例において、露光領域76は4Gb i t DRAM世代で必要となってくる50mm \square としてある。第2ミラーから反射されたSR光はマスク上で約60mm \square の照射領域75を照射する。

【0038】図4に示されるように、水平方向に出射されたSR光41が第1ミラー42のみにより反射されたとき、第1ミラー42の後方3560mmの位置(仮想平面46)で主光線に垂直な面との交線が直線になる

が、この面より光源40側寄りにx方向の曲率半径1332mm、y方向の曲率半径34800mmの第2ミラーがあることにより、第2ミラーに反射されて、水平方向に射出されたSR光はマスク面の位置でマスク面上にほぼ直線の交線を結ぶ。

【0039】図8は実施例におけるマスク位置における光線の分布を示す平面図であり、x方向には-13.5mrad~13.5mradの角度に1.35mradの間隔で、y方向には-0.28mrad~0.28mradの角度に0.028mradの間隔で合計441本の光線を光源から射出させた時のマスク位置における光線の分布を表す。黒い四角は、y方向の射出角が0の時の光線の到達する位置を表し、ほぼ直線になっていることがわかる。

【0040】このように光源40から水平方向に射出したSR光41が第1ミラー42、第2ミラーで連続的に反射された後、マスク面上であるいはウェーハ上で、直線とはならない場合は、マスク上あるいはウェーハ上で強度分布が2次的となり、露光量の制御は困難となる。上述のようにスキャン露光方式においては、若干の強度分布が存在する場合でも、スキャンすることにより平均化されその影響は比較的小さいが、一括露光方式では、その強度分布が2次的である場合には、露光量の制御が全く困難となる。

【0041】図9は実施例においてレジストに吸収されるパワーを示す模式的立体図であり、約60mm□の領域でレジストに吸収されるパワーをほぼ一定とすることができる。

【0042】ところで、発光点と第1ミラーの中心との距離を l_1 とし、第1ミラーの中心と第2ミラーの中心との距離を l_2 とし、第2ミラーの中心とマスクとの距離を l_3 とし、第1ミラー、第2ミラーへの斜入射角を*

$$r_{1y} > 2 / l_1 \times l_1 \times l_2 / (l_1 + l_2) / \sin \theta \quad (1)$$

の条件を満たすことが本実施の形態においては好ましい。

【0046】また、第2ミラーのサイズを小さくするためには、第2ミラーへの入射前にはほぼ一点に集光することが好ましく、

$$b < l_2$$

となり、よって、

$$1 / (1 / f_{1y} - 1 / l_1) < l_2$$

※

$$r_{1y} < 2 \times l_1 \times l_2 / (l_1 + l_2) / \sin \theta \quad (2)$$

また、SR軌道面に広がったSR光を集光するため、ミラーはx方向に凹の曲率を有している。しかしながら、その曲率により、集光されたSR光が第2ミラー上でほぼ一点に集まるようなことがある場合、第2ミラーは加熱され変形を起こすことになる。ミラーの変形は、マスク上へ照射されるSR光の強度の不均一性を増大させ好ましくない。

【0049】このことを避けるためには、第2ミラーの★50

* θ とし、第1ミラーの中心近傍におけるx方向、y方向の曲率半径をそれぞれ r_{1x} 、 r_{1y} とすると、第1ミラーの中心近傍における焦点距離 f_{1x} 、 f_{1y} はそれぞれ $f_{1x} = r_{1x} / (2 \sin \theta)$
 $f_{1y} = r_{1y} \times \sin \theta / 2$ と表される。

【0043】発光点から、SR軌道面に垂直な方向に射出した光は小さい広がりで発散していく。その光の広がりを表す角度を δ とすると、第1ミラーがないとき、第2ミラーの中心位置でSR軌道面に垂直な方向に、 $2 \times (l_1 + l_2) \times \tan(\delta/2)$ だけ広がる。一方、第1ミラーがあるときには、第2ミラーの中心位置でSR軌道面に垂直な方向に、 $2 \times l_1 \times \tan(\delta/2) \times (l_2 - b) / b$ だけ広がる。ここで、 $b = 1 / (1 / f_{1y} - 1 / l_1)$ である。

【0044】第1ミラーを設置することにより、SR軌道面に垂直な方向に射出した光が第2ミラー位置で、第1ミラーがないときに比較して10倍以上広がることは、ミラーを大きくし過ぎることになるため好ましくない。したがって、

$$2 \times l_1 \times \tan(\delta/2) \times (l_2 - b) / b < 10 \times 2 \times (l_1 + l_2) \times \tan(\delta/2)$$

となっている必要がある。このことから、 $b > l_1 \times l_2 / (l_1 \times l_1 + 10 \times l_2)$ となっている必要がある。よって、 $f_{1y} > l_1 \times l_2 / l_1 / (l_1 + l_2)$ となる。

【0045】すなわち、第1ミラーのy方向の曲率半径は、

※すなわち、

$$f_{1y} < l_1 \times l_2 / (l_1 + l_2)$$

となる。

【0047】これを r_{1y} で表せば、先の式(1)で規定した下限値に加えて、以下の上限値も満たすことが、本実施の形態においてはより好ましい。

【0048】

★十分手前で集光させるか、あるいは十分遠方で集光させる必要がある。これは第2ミラー上での光のx方向の広がりを、第1ミラー上での光のx方向の広がりの2倍以下とすることにより達成される。

【0050】したがって、SR軌道面に広がった光のほぼ集光される位置が、第1ミラーと第2ミラーの間の第1ミラーからみて2/3の位置より第1ミラー側にあるか、あるいは、第2ミラーより第1ミラーと第2ミラ

13

一の距離の半分以上遠方にあれば良いことになる。

【0051】すなわち、

$$c = 1 / (1 / f_{1x} - 1 / l_1)$$

とすると、

$$c < 2/3 \times l_2 \quad \text{または、} \quad c > 3/2 \times l_2$$

$$r_{1x} < 2 \sin \theta / (1 / l_1 + 3/2 / l_2) \quad \text{または、}$$

$$r_{1x} > 2 \sin \theta / (1 / l_1 + 2/3 / l_2)$$

の条件を満たすことがより好ましい。

【0053】本実施の形態では、 $l_1 = 2800 \text{ mm}$ 、 $l_2 = 3200 \text{ mm}$ 、 $l_3 = 5000 \text{ mm}$ 、 $\theta = 18 \text{ mrad}$ と設定されているので、上記の式(1)から、 $r_{1y} > 15085 \text{ mm}$

上記の式(2)から、 $15085 \text{ mm} < r_{1y} < 165935 \text{ mm}$

上記の式(3)から、 $r_{1x} < 43.6 \text{ mm}$ または $r_{1x} > 63.7 \text{ mm}$ となり、本実施の形態の装置ではこれらを満たす具体的な数値として

$$r_{1x} = 89.9 \text{ mm} - 0.0062 \times y \quad \text{mm}$$

$$r_{1y} = 82284 \text{ mm}$$

と設定することによって、非常に優れたX線照明光学系を実現した。

【0054】図10は実施例において第2ミラーを微小回転振動させる状態を示す模式的斜視図であり、図中符号100は光源、101は垂直方向に射出されたSR光、102は第1ミラー、103は第2ミラー、104は回転x軸、105は照射領域、106は露光領域である。図11は微小振動の概念の説明および実施の形態を示す模式図であり、(a)はミラー微小スキャン前のマスク面における照射強度、(b)はミラー微小スキャンによるマスク面における照射強度むらの移動、(c)はミラー微小スキャン後のマスク面における照射強度である。

【0055】ミラーあるいはX線窓の形状誤差、ミラー表面上にある傷、ミラー、X線窓の表面に付着したほこり、異物、さらには表面粗さのミラー面上での分布の違い等が存在しないときは、レジストに吸収されるパワーは照射領域内、とりわけ露光領域内では一定である。ところが、X線あるいは真空紫外線に対しては、微小なミラーの形状誤差、あるいは、X線窓の厚みむら等がX線あるいは真空紫外線の照射強度むらを生じさせる。そのため、図11(a)に示すように照射領域内で照射強度むらが発生する。図10に示すように回転x軸104の周りで第2ミラー103を回転振動させ、かつ、照射領域105の端が露光領域106内に入っていない範囲で微小に振動するとき、図11(b)に示されるように照射強度むらが露光領域内で移動することになる。結果として、図11(c)に示されるように露光領域内で照射強度の平均がほぼ均一となることになる。露光領域の外側では、平均化された照射強度は連続的に小さくなる。照射領域の端が露光領域内に入ってくる程大きく回転振

14

*となっている必要がある。すなわち、

$$f_{1x} < 1 / (1 / l_1 + 3/2 / l_2) \quad \text{または、}$$

$$f_{1x} > 1 / (1 / l_1 + 2/3 / l_2)$$

となる。

【0052】したがって、本実施の形態では、

(3)

※動させるとき、照射強度が連続的に小さくなる部分が露光領域に入ってくることになり、好ましくない。

【0056】一方、露光領域内に照射強度の端が入ってこないという条件でミラーを振る時、露光領域内の照射強度のむらが大きいと、第2ミラーの微小振動では、照射強度のむらの均一化が十分でなくなってしまう。第2ミラーの微小振動によってむらが顕著に均一化されるのは、むらが移動する距離に比べてむらの周期が小さいときである。むらが移動する距離に比べてむらの周期が2倍程度の時、むらは $1/\pi$ 程度になる。照射強度の最大値が最小値の2倍であり、照射強度の平均がその中間の値を有するとき、照射強度むらは $\pm 0.5/1.5$ で $\pm 33\%$ となる。この場合むらの移動によってむらが $1/\pi$ となったとするとむらは $\pm 33/\pi$ で約 $\pm 10.5\%$ となる。露光において、むらは $\pm 10\%$ 以下でなければならないから、照射強度の最大値が最小値の2倍以下とならなければならないことになる。むらが移動する距離に比べてむらの周期が2倍以上の時、微小振動によって照射強度むらを均一化することは効果は極めて小さくなる。

【0057】このように、微小回転振動させることにより、ミラーあるいはX線窓の形状誤差、ミラー表面上にある傷、ミラー、X線窓の表面に付着したほこり、異物、さらには表面粗さのミラー面上での分布の違いにより発生した照射強度むらを均一にすることが可能となる。また、本実施例においては、第2ミラーサイズを小さくしているため、微小振動が容易となっている。

【0058】なお、ここでは、照射強度むらを露光領域内で移動させる手段として、第2ミラーの微小回転振動としたが、微小直線振動あるいはそれらの複合、また、第1ミラーの微小回転、あるいは直線振動であってもよいことはいうまでもない。ウェーハに到達するSR光が、それらの振動により上下方向に振動するときがもっともよく光学素子の傷、形状誤差等により発生する露光むらが除去されるので、ミラーを回転振動させる軸が、ほぼx方向の軸であることが望ましく、直線振動の振動方向が、ほぼy方向であることが望ましい。さらにミラーの法線からずれた角度を有する直線を軸としてミラーを回転させても同様な効果を得られる。

【0059】また、実施例では一括露光方式の露光装置で説明したが、本発明は当然スキャン露光方式にも適用できる。

【0060】

【発明の効果】以上説明したように本発明は、第1ミラーをx、y両方向とも凹、第2ミラーをy方向凸とすることにより、露光領域全面をほぼ均一な強度で照射できる。

【0061】また、ミラーあるいはX線窓の形状誤差、ミラー表面上にある傷、ミラー、X線窓の表面に付着したほこり、異物、さらには表面粗さのミラー面上での分布の違い等がある場合には、ミラーを微小振動させることによりさらに露光領域全面を均一な強度で照射することができ、リソグラフィーにおいて、線幅均一性の向上を行うことができるという効果がある。

【0062】また、第1ミラーからの垂直方向のSR光を第2ミラーの手前で集光しているため第2ミラーの照射方向の長さを短くでき、第2ミラーを小型軽量化でき、それによりミラーの加工精度を上げることができ、微小振動も容易となるという効果がある。

【0063】さらに、水平方向に大きい発散角で光源から出射したSR光を集めることにより、マスク上に照射される強度を上げることができ、スルーブットの向上も行えるという効果がある。

【0064】さらに、第1ミラーのy方向の曲率半径を、

$$r_{1y} > 2 / (1/l_1 \times l_2 / (l_1 + l_2) / \sin \theta$$

の条件を満たすことにより、SR軌道面に垂直な方向に出射した光が、第2ミラー位置で広がりすぎること 방지、さらに、

$$r_{1y} < 2 \times l_1 \times l_2 / (l_1 + l_2) / \sin \theta$$

 の条件を満たすこと、あるいは第1ミラーのx方向の曲率半径を、

$$r_{1x} < 2 \sin \theta / (1/l_1 + 3/2/l_2)$$
 または、

$$r_{1x} > 2 \sin \theta / (1/l_1 + 2/3/l_2)$$

 の条件を満たすことによって、さらに好ましい露光装置が実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態の露光装置の光学系の構成と配置を示す模式的配置図である。(a)は側面図である。(b)は上面図である。

【図2】本発明の実施の形態における主光線、ミラーの中心、座標系の概念を示す模式的斜視図である。

【図3】本発明の実施の形態の垂直方向に出射したSR光の光路を示す模式的斜視図である。

【図4】本発明の実施の形態の水平方向に出射したSR光の光路を示す模式的斜視図である。

【図5】実施例のミラーの形状を示す立体図である。(a)は第1ミラーである。(b)は第2ミラーである。

【図6】実施例の第2ミラーの中心位置における第1ミラーからの反射光の分布を示す平面図である。

【図7】実施例におけるSR光がマスク上に形成する照射領域と露光領域を示す模式的斜視図である。

【図8】実施例におけるマスク位置における光線の分布を示す平面図である。

【図9】実施例においてレジストに吸収されるパワーを示す模式的立体図である。

【図10】実施例において第2ミラーを微小回転振動させる状態を示す模式的斜視図である。

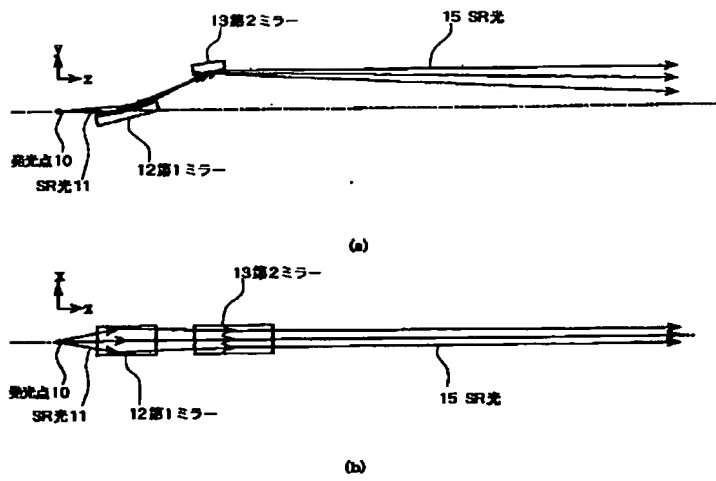
【図11】微小振動の概念の説明および実施の形態を示す模式図である。(a)はミラー微小スキャン前のマスク面における照射強度である。(b)はミラー微小スキャンによるマスク面における照射強度むらの移動である。(c)はミラー微小スキャン後のマスク面における照射強度である。

【図12】従来例(3)の露光装置の模式的斜視図である。

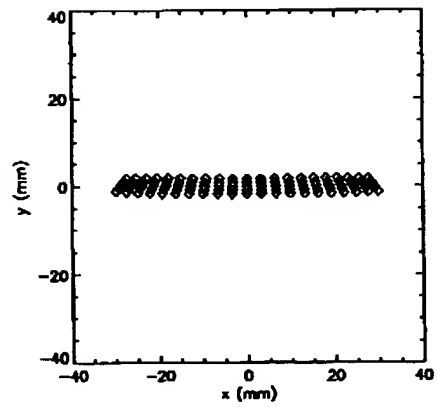
【符号の説明】

- 10、20a、120 発光点
- 11、15 SR光
- 12、22、32、42、72、102 第1ミラー
- 13、23、73、103 第2ミラー
- 20 SRリング
- 22a 第1ミラーの中心
- 23a 第2ミラーの中心
- 25、26、27 主光線
- 29、129 マスク
- 29a マスクの中心
- 30、40、70、100 光源
- 31、101 垂直方向に出射されたSR光
- 34、35、44、45、46、47 仮想平面
- 34a、35a 垂直方向に出射されたSR光と仮想平面との交線
- 36 集光される位置
- 41 水平方向に出射されたSR光
- 42a 水平方向に出射されたSR光と第1ミラーとの交線
- 44a、45a、46a、47a 水平方向に出射されたSR光と仮想平面との交線
- 48は第1ミラーから出射したSR光
- 71 SR光
- 75 マスク上の照射領域
- 76 マスク上の露光領域
- 104 回転x軸
- 105 照射領域
- 106 露光領域
- 122 ミラー

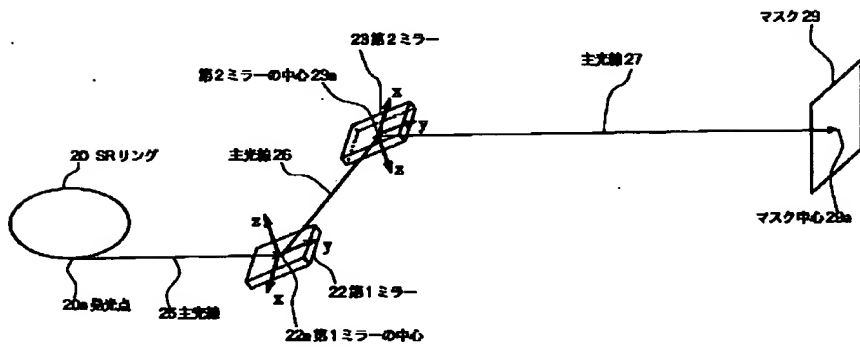
【図1】



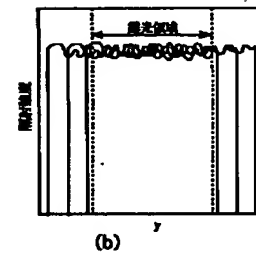
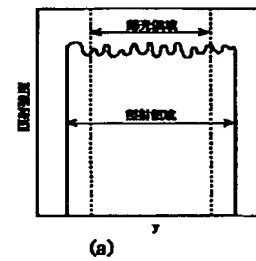
【図6】



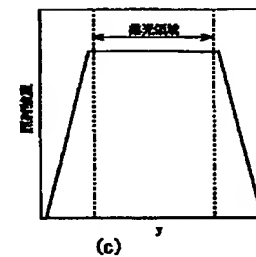
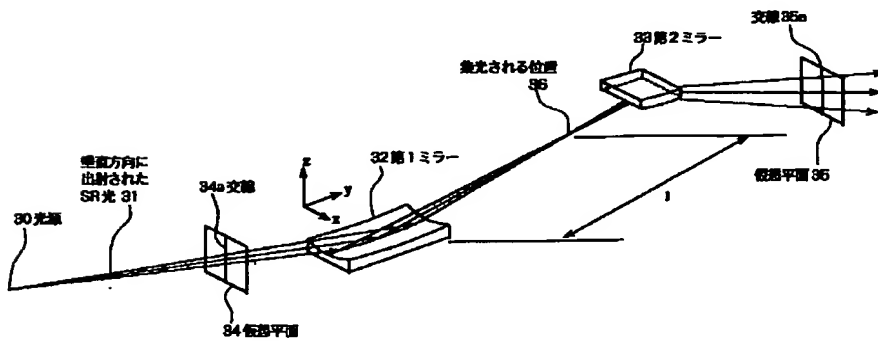
【図2】



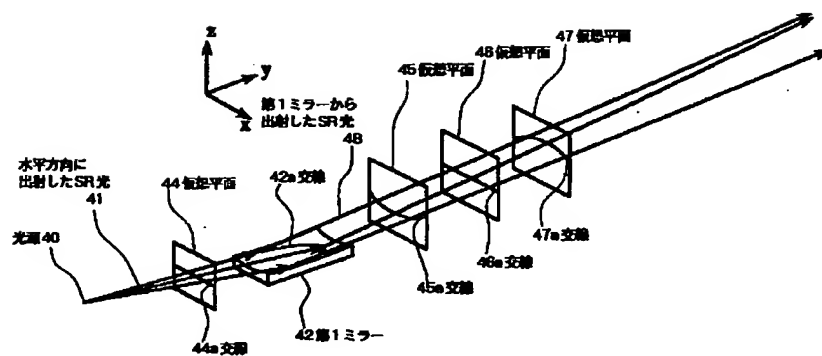
【図11】



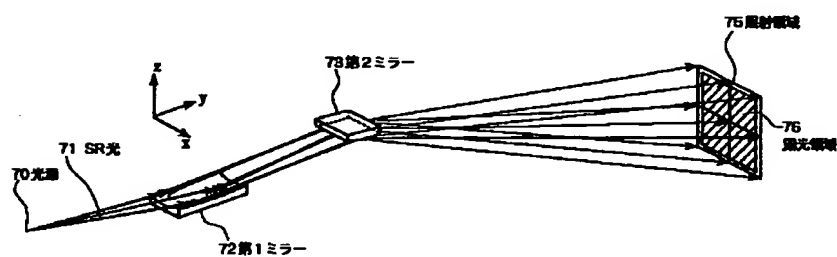
【図3】



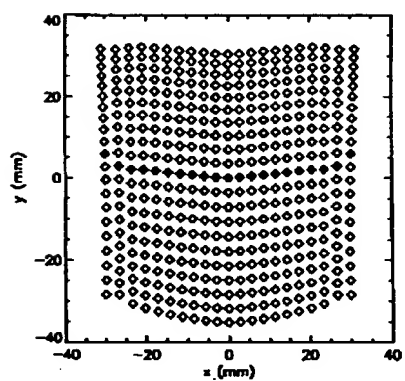
【図4】



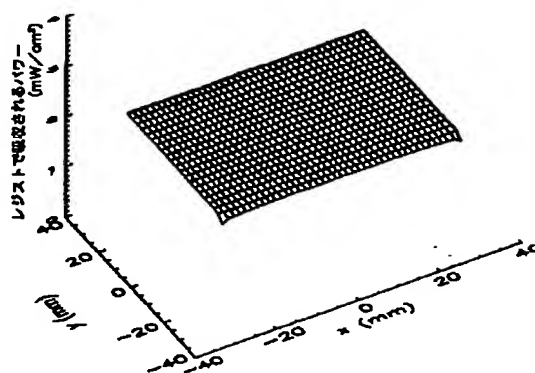
【図7】



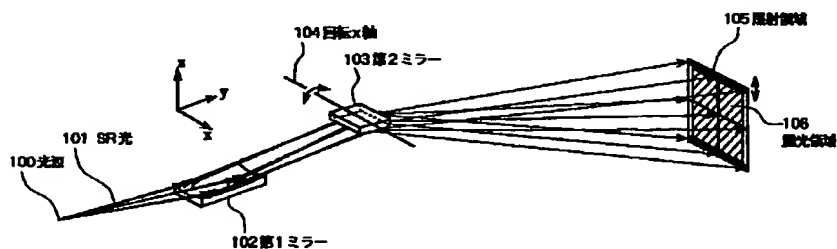
【図8】



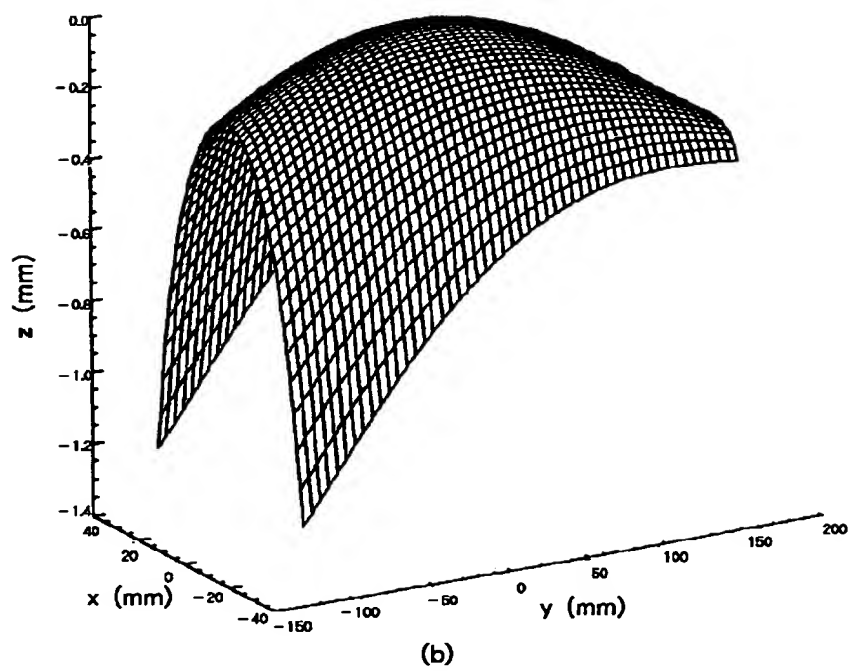
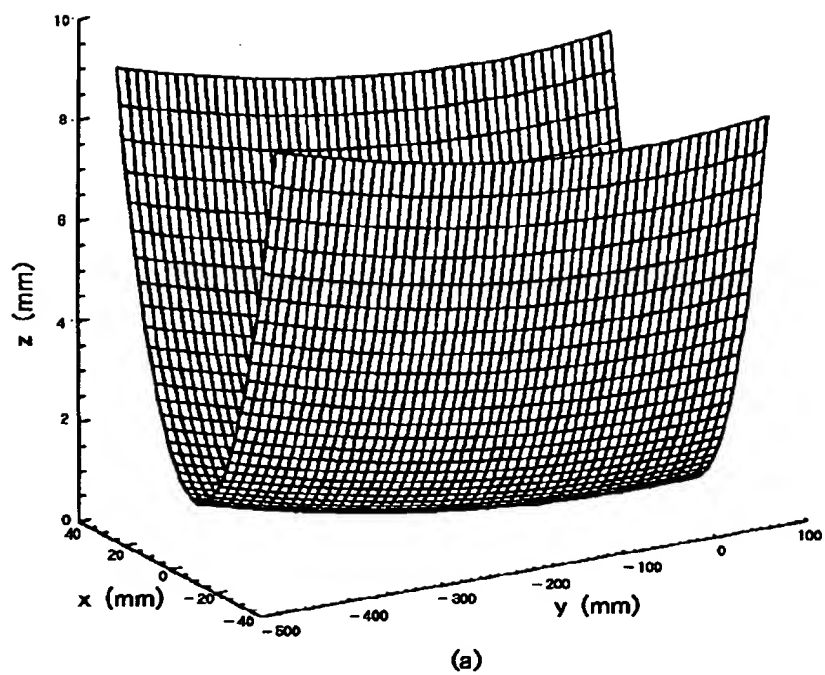
【図9】



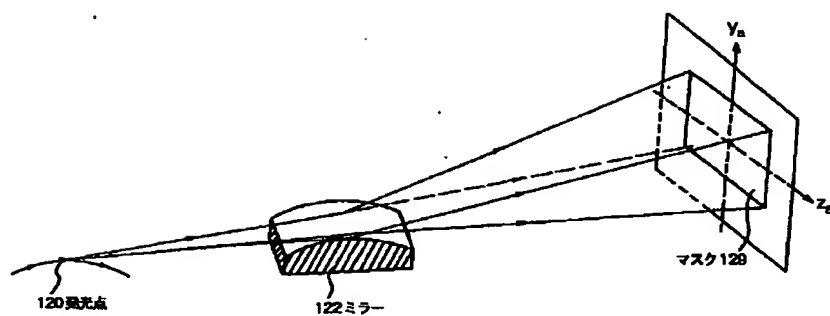
【図10】



【図5】



【図12】



フロントページの続き

(72)発明者 福田 恵明
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ
ノン株式会社内

(72)発明者 鶴澤 俊一
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ
ノン株式会社内